

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Nina Mejač

**Razvoj orodja za pridobivanje
nadmorskih višin izbrane lokacije**

DIPLOMSKO DELO
UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE
RAČUNALNIŠTVO IN MATEMATIKA

MENTOR: doc. dr. Polona Oblak

Ljubljana 2014

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja. Za objavljane ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja

Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Tematika naloge:

V delu je razvito orodje geografskega informacijskega sistema (GIS), ki za poljubno lokacijo vrne njeno nadmorsko višino. Z uporabo vrnjenih višin orodja izrišemo profil poljubno označenega terena, izohipse in vidne stike. Poleg orodja je v delu predstavljena teorija, ki je potrebna za razumevanje in uporabo aplikacij GIS ter zemljevidov. Poglavja teorije obsegajo predstavitev različnih koordinatnih sistemov, njihove projekcije, osnovne metode transformiranja med koordinatnimi sistemi, ter osnove GIS.

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisana Nina Mejač, z vpisno številko **63100306**, sem avtorica diplomskega dela z naslovom:

Razvoj orodja za pridobivanje nadmorskih višin izbrane lokacije

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelala samostojno pod mentorstvom doc. dr. Polone Oblak,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 11. junija 2014

Podpis avtorja:

Zahvaljujem se družini za podporo, še posebej Alešu za pomoč in motivacijo med študijem. Mentorici doc. dr. Poloni Oblak se zahvaljujem za vodenje in podporo pri izdelavi diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi sodelavcem v podjetju Realis za pomoč in prijetno vzdušje med razvojem diplomske naloge in delom v podjetju.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
2	Koordinatni sistemi	3
2.1	Sferni in elipsoidni koordinatni sistem	4
2.2	Koordinatni sistem projekcije	9
2.3	Datum in referenčni koordinatni sistem	10
2.4	Projekcije zemljevidov	12
2.5	Transformacije med koordinatnimi sistemi	22
3	GIS	27
3.1	.prj datoteka	29
3.2	.bt datoteka	30
4	Orodje Elevation	33
4.1	Razred BTCell	36
4.2	Razred BTFile	36
4.3	Razred ElevationGenerator	38
4.4	Uporaba orodja Elevation v praksi	42
5	Zaključek	47

Seznam uporabljenih kratic

GIS - geografski informacijski sistem

WGS - World Geodetic System

GRS - Geodetic Reference System

E - easting

N - northing

EGM - Earth Gravitational Model

UTM - Universal Transverse Mercator

SHP - Shape file

PRJ - Projection file

BT - Binary terrain file

KAZALO

Povzetek

Orodje Elevation, ki je razvito v programskem jeziku C# v okolju Visual Studio, je orodje, ki za poljubno lokacijo ali skupino lokacij vrne njihovo nadmorsko višino. Višino prebere iz binarnih datotek, v katerih so shranjene višine terena. Osnovni namen uporabe orodja v praksi je izris profila terena, ki ga uporabnik označi na zemljevidu aplikacije, v katero je orodje vključeno. V diplomskem delu sta prikazana še dva primera uporabe orodja, in sicer izris vidnega stika in izohips.

Pri razvoju orodja je bilo potrebno rešiti tri pomembnejše naloge:

- upoštevanje možnosti uporabe različnih koordinatnih sistemov, ter ustrezna transformacija med njimi,
- časovna optimizacija branja višin iz binarnih datotek,
- zagotavljanje maksimalne natančnosti višine izbrane lokacije z interpolacijo podatkov prebranih iz datotek z različnimi stopnjami natančnosti.

Ključne besede: geografski informacijski sistem, koordinatni sistem, nadmorska višina, zemljevid

Abstract

Tool Elevation, which is developed in C# with the Visual Studio development environment, is a tool that returns the elevation of a selected location or a group of locations. The elevation is read from the binary file, which contains the elevations of terrain. The basic use of this tool is the tracing of a terrain profile marked by a user on the map. This map is a part of the application in which Elevation tool is integrated. We present another two applications of the tool, namely tracing of the eye contact and plotting the contour lines.

Three main tasks were solved to develop the tool:

- using different coordinate systems and transformation between them,
- time optimization of reading the elevations from binary files,
- maximal accuracy of the elevation of the selected location. It is obtained by data interpolation read from the files with different accuracy levels.

Key words: geographic information system, coordinate system, elevation, map

Poglavje 1

Uvod

Na internetu se pojavlja veliko aplikacij, ki temeljijo na uporabi prostorskih podatkov. Od najbolj znane aplikacije Google Zemljevidi, ki uporabniku omogoča iskanje lokacij, naslovov, prikaz s satelitsko sliko, vpogled v ulice in še mnoge druge dejavnosti, pa vse do specializiranih aplikacij, kot so prikaz potovanja padavin na zemljevidu ali pa prikaz lokacij avtobusnih in železniških postaj. Z enim izrazom pravimo tem aplikacijam GIS aplikacije, saj temeljijo na uporabi in analizi prostorskih podatkov.

GIS aplikacija je tudi PISO (Prostorski informacijski sistem občin) aplikacija podjetja Realis. Aplikacija omogoča občanom in zaposlenim na občinah uporabo orodij, kot so podrobnejši vpogled v parcele, stavbe, gospodarsko infrastrukturo in še mnoga druga. Eno izmed orodij aplikacije je merjenje razdalje in površin. Za njegovo uporabo uporabnik na zemljevidu označi zelene lokacije, ki se ob izrisu povežejo z daljicami. Nato se uporabniku v pomožnem oknu prikaže dolžina označene poti ali njena površina, če je oblika območja poligon. Na željo uporabnikov, da bi imeli možnost označeno območje videti z izrisom profila terena, smo obstoječemu orodju razširili funkcionalnost z orodjem Elevation. Kasneje je ta ideja prešla na izris vidnega stika območja.

V diplomski nalogi so v prvih dveh poglavjih opisane teoretične osnove, ki jih je potrebno razumeti za delo z GIS –i in zemljevidi. Drugo poglavje opisuje koordinatne sisteme, transformacijo med njimi ter projekcije zemljevidov. To poglavje

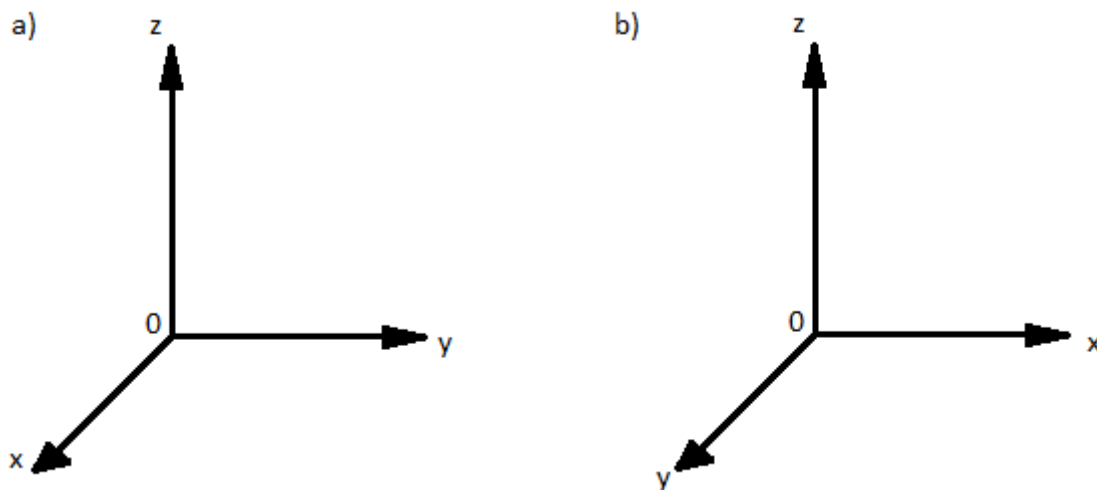
je večinoma povzeto po knjigi [3]. Poglavje 3 na kratko razloži osnove GIS-a in GIS aplikacij, ter hranjenje prostorskih podatkov. Podpoglavji 3.1 in 3.2 opisujeta dva formata datotek, ki sta v orodju uporabljena za hranjenje podatkov o višinah in koordinatnih sistemih, v katerih so podatki. Poglavje 4 opisuje orodje Elevation. Opisane so naloge, s katerimi smo se soočili za pravilno in učinkovitejše delovanje orodja, ter njegovi razredi in metode. V podpoglavju 4.4 so navedeni primeri uporabe orodja v praksi. Poleg omenjenega izrisa profila terena ter vidnega stika je na kratko predstavljen tudi rezultat razvitega programa za izris izohips označenega območja.

Poglavje 2

Koordinatni sistemi

Koordinatni sistem je matematično orodje, s katerim lahko opišemo lego poljubne točke v prostoru. Sestavljajo ga koordinatne osi, katerih izhodišče je v njihovem presečišču. Dimenzija sistema je enaka številu koordinatnih osi. Glede na vrstni red osi v sistemu ločimo desnosučni in levosučni koordinatni sistem.

Za opis koordinatnega sistema potrebujemo naslednje attribute: dimenzija koordinatnega sistema, imena posameznih osi, zaporedje osi, smeri osi ter enota.



Slika 2.1: Slika prikazuje desnosučni (a) in levosučni (b) kartezični koordinatni sistem.

Ker je površje Zemlje zelo raznoliko, je ne moremo enačiti s sfero ali elipsoidom.

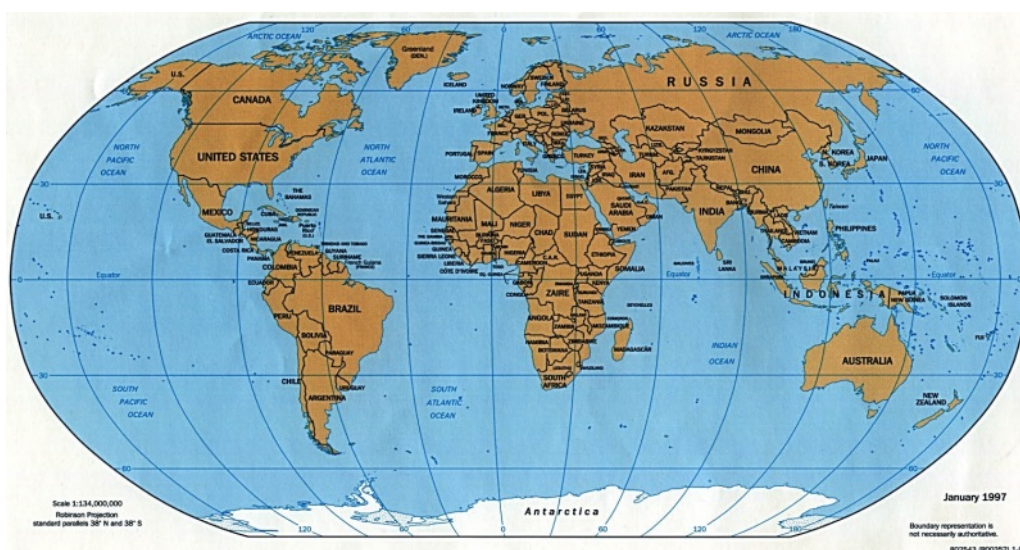
Telo, ki se najboljše prilega Zemlji tudi glede na njeno površje je geoid. Ker pa je z geoidom zaradi njegove nepravilne oblike površja težko računati, se model Zemlje po navadi vseeno poenostavi s sfero ali elipsoidom. V zadnjih dveh stoletjih je bilo zajetih več podatkov Zemljinega površja za oblikovanje najustrežnejšega elipsoida. Za najbolj prilegajočega je bil s strani Union of Geodesy and Geophysics sprejet GRS 1980 (Geodetic Reference System). Zaradi uporabe poenostavljenega modela Zemlje se bomo osredotočili na tridimenzionalne sferne in elipsoidne koordinatne sisteme ter dvodimenzionalne koordinatne sisteme njihovih projekcij.

2.1 Sferni in elipsoidni koordinatni sistem

Sferni koordinatni sistem Zemlje je definiran s parametri zemljepisna širina, zemljepisna dolžina in višina. S temi parametri lociramo pozicije na površju Zemlje. Zemljepisna širina je kot severno ali južno od ravnine ekvatorja, s pomočjo katere se merijo razdalje sever – jug, zemljepisna dolžina je kot vzhodno ali zahodno od začetnega poldnevnika, s pomočjo katere se merijo razdalje vzhod - zahod, višina je razdalja nad površjem Zemlje. S pomočjo naštetih parametrov Zemljo prikažemo z mrežo vzporednikov in poldnevnikov, ki določajo zemljepisno dolžino in širino posamezne točke na površju. Vzporedniki so linije na površju, ki tečejo v smeri vzhod – zahod in so vzporedne z ekvatorjem, ki je ničelni vzporednik. Vzporednik ima na celotnem krogu, ki ga preteče, enako zemljepisno širino. Merjenje zemljepisne širine se začne pri ekvatorju in se meri pozitivno do 90° proti severu, ter negativno do 90° proti jugu. Poldnevniki so linije na površju, ki tečejo od enega pola do drugega. Linija ima na celotnem območju od severnega do južnega pola enako zemljepisno dolžino. Začetni poldnevnik ni splošno določen in njegova izbira vpliva na definicijo datuma. Danes je za začetni poldnevnik najpogosteje določen poldnevnik Greenwich, katerega potek prikazuje slika 2.2.



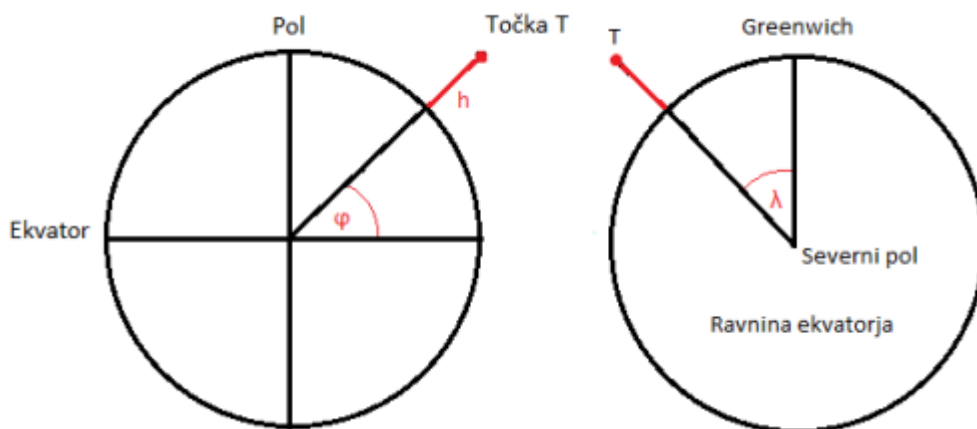
Slika 2.2: Slika prikazuje potek začetnega poldnevnik Greenwich. Vir slike: [http : //news.bbc.co.uk/nol/shared/bsp/hi/dhtml_slides/09/greenwich_meridian/img/01_merid_greenwich_466map.gif](http://news.bbc.co.uk/nol/shared/bsp/hi/dhtml_slides/09/greenwich_meridian/img/01_merid_greenwich_466map.gif)



Slika 2.3: Slika prikazuje atlas sveta, na katerem se vidi potek vzporednikov in poldnevnikov. Vir slike: [http : //www.lib.utexas.edu/maps/world_maps/world_pol97.jpg](http://www.lib.utexas.edu/maps/world_maps/world_pol97.jpg)

Merjenje zemljepisne dolžine se začne pri začetnem poldnevniku in se meri pozitivno do 180° proti vzhodu, ter negativno do 180° proti zahodu. Koordi-

nate koordinatnega sistema se uporablja za merjenje lokacije na površju Zemlje, izražene s stopinjami zemljepisne širine in dolžine.

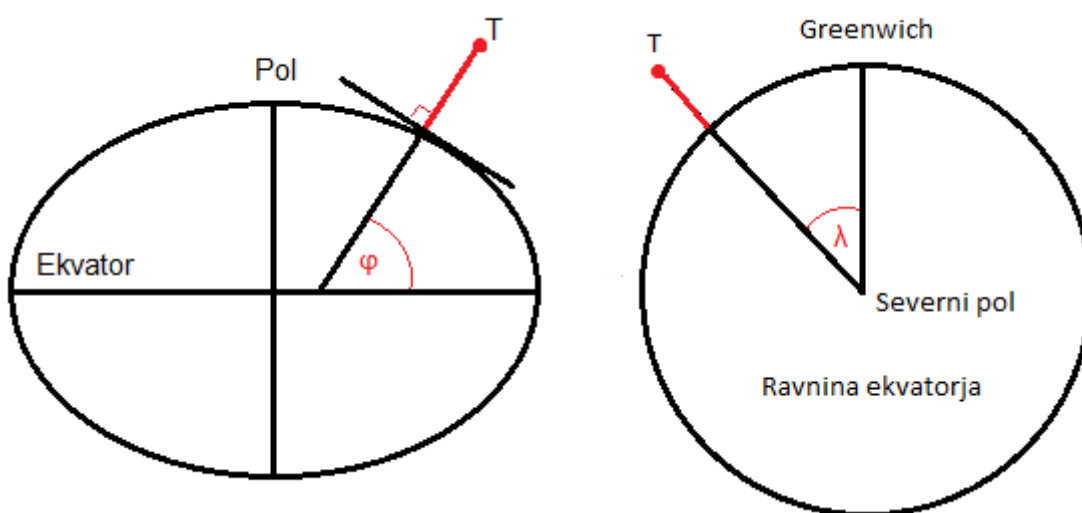


Slika 2.4: Slika prikazuje sferni koordinatni sistem, kjer je φ zemljepisna širina, λ zemljepisna dolžina, h višina.

Opis sfernega koordinatnega sistema z atributi:

- dimenzija: tridimenzionalni koordinatni sistem,
- imena koordinatnih osi: zemljepisna širina (kot med ravnino ekvatorja in linijo od točke na površju sfere do njenega središča, ki se meri severno ali južno od ravnine ekvatorja), zemljepisna dolžina (kot med začetnim poldnevnikom in linijo od točke na površju sfere do njenega središča, ki se meri vzhodno ali zahodno od začetnega poldnevnika), višina (razdalja nad površjem sfere),
- zaporedje koordinatnih osi: (zemljepisna širina, zemljepisna dolžina, višina),
- smer koordinatnih osi: zemljepisna širina: koti merjeni severno od ekvatorja so pozitivni, južno od ekvatorja so negativni, zemljepisna dolžina: koti merjeni vzhodno od začetnega poldnevnika so pozitivni, zahodno od začetnega poldnevnika so negativni, višina: razdalje merjene nad površjem sfere so pozitivne, pod površjem sfere so negativne,
- enota: stopinje in minute za zemljepisno širino in dolžino (manj pogosto ure), meter za višino.

Podobno velja za koordinatni sistem elipsoida. Razlika med sfernim in elipsoidnim koordinatnim sistemom je, da se kot zemljepisne širine pri sfernem meri iz središča, pri elipsoidu pa se meri glede na njegovo normalo. Normala elipsoida je linija, ki gre skozi točko na površju in je nanj pravokotna. Kot zemljepisne širine se pri elipsoidu meri od presečišča normale z ravnino ekvatorja.



Slika 2.5: Slika prikazuje elipsoidni koordinatni sistem, kjer je φ zemljepisna širina, λ zemljepisna dolžina, h višina.

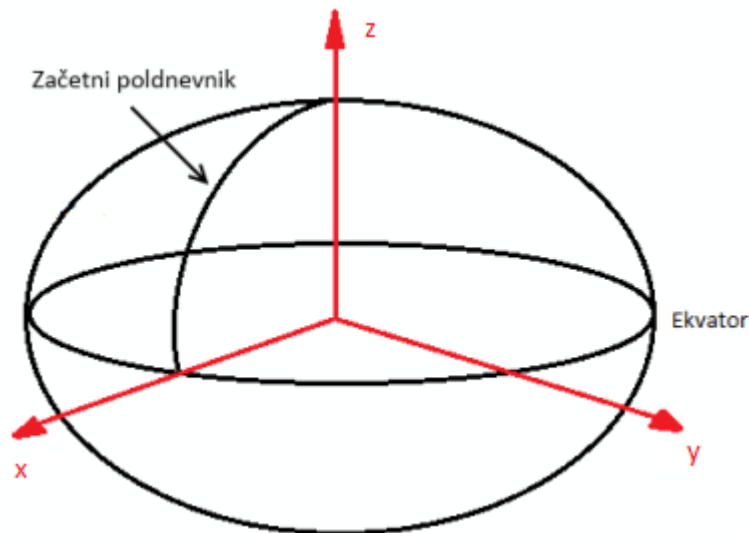
Atributi elipsoidnega koordinatnega sistema:

- dimenzija: dvodimenzionalni ali tridimenzionalni koordinatni sistem,
- imena koordinatnih osi dvodimenzionalnega koordinatnega sistema: zemljepisna širina (oznaka je φ), zemljepisna dolžina (oznaka je λ), imena koordinatnih osi tridimenzionalnega koordinatnega sistema: zemljepisna širina (oznaka je φ), zemljepisna dolžina (oznaka je λ), višina (oznaka je h),
- zaporedje koordinatnih osi dvodimenzionalnega koordinatnega sistema: (φ, λ) , zaporedje koordinatnih osi tridimenzionalnega koordinatnega sistema: (φ, λ, h) ,
- smer koordinatnih osi: zemljepisna širina: koti merjeni severno od ekvatorja so pozitivni, južno od ekvatorja so negativni, zemljepisna dolžina: koti mer-

jeni vzhodno od začetnega poldnevnikar so pozitivni, zahodno od začetnega poldnevnikar so negativni, višina: razdalje merjene nad površjem sfere so pozitivne, pod površjem sfere so negativne,

- enota: stopinje in minute za zemljepisno širino in dolžino (manj pogosto ure), meter za višino.

Ker je računanje s koordinatami v elipsoidnem koordinatnem sistemu kompleksno, se v te namene uporablja poenostavljen koordinatni sistem, in sicer geocentrični kartezični koordinatni sistem. Definirajo ga kartezične osi, izhodišče koordinatnega sistema pa je v središču elipsoida.



Slika 2.6: Slika prikazuje kartezični geocentrični koordinatni sistem z osmi x , y in z .

Atributi kartezičnega geocentričnega koordinatnega sistema, ki ga prikazuje slika 2.6:

- dimenzija: tridimenzionalni koordinatni sistem,
- imena koordinatnih osi: x , y , z ,
- zaporedje koordinatnih osi: (x, y, z) ,

- smer koordinatnih osi: z os je iz središča usmerjena proti severnemu polu in sovpada s polarno osjo, x os leži na ravnini ekvatorja in je poravnana z začetnim poldnevnikom, y os dopolnjuje koordinatni sistem v desnosučnega tako, da so osi med sabo pravokotne,
- enota: najpogosteje meter, redkeje kilometer.

2.2 Koordinatni sistem projekcije

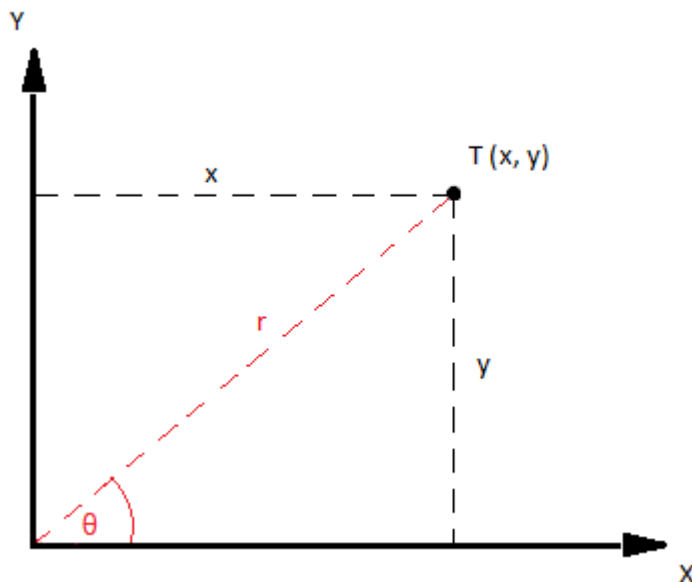
Za prikaz sveta na zemljevidu je potrebno tridimenzionalni koordinatni sistem prevesti v dvodimenzionalnega. Takšnemu koordinatnemu sistemu pravimo projiciran koordinatni sistem. Definiran je z geografskim koordinatnim sistemom, kartografsko projekcijo, ter parametri, ki so zanjo potrebni. S pomočjo koordinat projiciranega koordinatnega sistema merimo lokacije na površju Zemlje v dvorazsežnem koordinatnem sistemu, ki locira objekte glede na njihovo oddaljenost od izhodišča po x in y osi. Projicirane koordinate so transformirane iz zemljepisne širine in dolžine s kartografsko projekcijo.

Kot je omenjeno v poglavju 2.1, je lahko elipsoidni koordinatni sistem tudi dvodimenzionalen. V tem primeru se atributi koordinatnega sistema razlikujejo le v tem, da ni tretje dimenzije (višine) in da so enote le stopinje ali ure. Ker včasih računanje s koordinatami v dvodimenzionalnem elipsoidnem koordinatnem sistemu ni bilo trivialno, so se postopoma razvile tehnike za pretvarjanje v kartezične koordinate.

Atributi kartezičnega koordinatnega sistema:

- dimenzija: dvodimenzionalni koordinatni sistem
- imena koordinatnih osi: vzhodno (easting - E), severno (northing -N),
- zaporedje koordinatnih osi: nekateri koordinatni sistemi imajo (E, N), nekateri pa (N, E),
- smer koordinatnih osi: imeni sta določeni glede na smer naraščanja,
- enota: meter.

Poleg kartezičnega koordinatnega sistema se uporablja tudi polarni koordinatni sistem s parametroma (r, θ) . Za pretvarjanje iz enega koordinatnega sistema v drugega ni potrebno spreminjati pozicije izhodišča ali orientacije sistema.



Slika 2.7: Slika za točko T prikazuje kartezične in polarne koordinate.

Elipsoidni in kartezični koordinatni sistem sta koordinatna sistema, ki sta najpogostejše uporabljena v geografskih informacijskih sistemih (GIS).

2.3 Datum in referenčni koordinatni sistem

Datum je informacija, ki je potrebna za fiksiranje koordinatnega sistema nekemu objektu. V našem primeru je objekt Zemlja. Ta informacija je odvisna od koordinatnega sistema, ki je uporabljen, in njegove dimenzije.

Vrste datumov:

- geodetski datum: datum, ki opisuje odnose med koordinatnim sistemom elipsoidnega ali sferičnega modela Zemlje z Zemljo,
- vertikalni datum: datum, ki opisuje odnose med višino nanašajočo na gravitacijo in Zemljo,

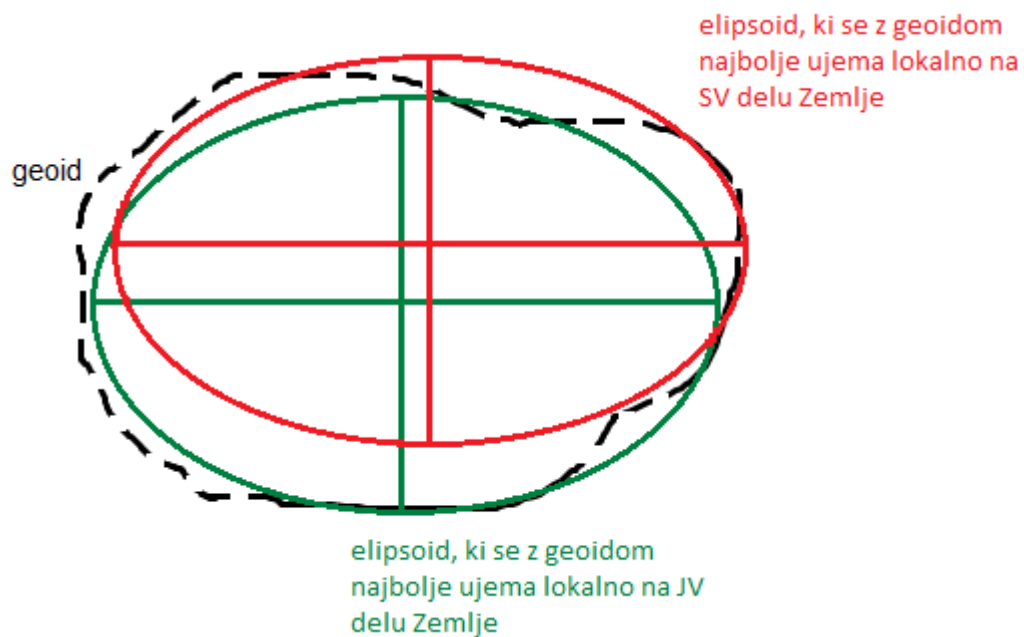
- inženirski datum: datum, ki opisuje odnose koordinatnega sistema do neke informacije, ki jo lahko predstavlja premikajoči objekt (npr. avto ali letalo) ali neka lokacija na Zemlji,
- datum fotografije: tip inženirskega datuma, ki opisuje odnose koordinatnega sistema do fotografije.

2.3.1 Geodetski datum

Geodetski datum je mehanizem, s katerim je definiran odnos med elipsoidom in geoidom. Definira se ga tako, da se najprej izbere elipsoid, ki se najbolj ujema z geoidom Zemlje. Nato se v izbrani točki, določeni za izvor datuma, definira pozicijo in orientacijo elipsoida. V izvoru datuma se določi zamaknjenost datuma, ki je po navadi 0, ter normalo elipsoida, ki je vzporedna z gravitacijo. Bolj ko se oddaljujemo od izvora datuma, bolj se povečuje njegova zamaknjenost. Zato se za izvor datuma izbere točka na tistem delu površja Zemlje, za katerega želimo definirati čim bolj natančen datum. Za definiranje datuma mora biti določen tudi začetni poldnevnik.

Pozicija in orientacija elipsoidnega ali geocentričnega kartezičnega koordinatnega sistema sta povezani z Zemljo z geodetskim datumom. Koordinatni sistem, ki je lociran in orientiran glede na datum, se imenuje referenčni koordinatni sistem. Koordinate enolično določijo lokacijo točke le, če jim je določen referenčni koordinatni sistem. Če sistem ni določen, so te številke večpomenske, saj v različnih sistemih pomenijo drugo lokacijo. Za identifikacijo lokacije koordinat mora biti referenčni koordinatni sistem opisan z atributi koordinatnega sistema in datumom.

Dva izmed mnogih uporabljenih referenčnih koordinatnih sistemov sta najpogostejše uporabljena tudi v razvitem orodju za pridobivanje višin. Ta dva sistema sta WGS84 (World Geodetic System of 1984) ter Gauss – Krügerjev koordinatni sistem. Prvi je standard, ki se uporablja v kartografiji, geodeziji in navigaciji. Izhodišče referenčnega koordinatnega sistema WGS84 je v masnem središču Zemlje, za katerega naj bi bila napaka manjša od 2 cm. Začetni poldnevnik WGS84 sistema je Reference Meridian (internacionalni referenčni poldnevnik), ki leži $5,3^{\circ}\text{E}$ (vzhodno) od poldnevnika Greenwich. Geoid, ki ga sistem uporablja kot približek



Slika 2.8: Primer ujemanja enega elipsoida na severovzhodnemu in drugega na jugovzhodnemu delu Zemlje.

Zemlje, je geoid EGM96 (Earth Gravitational Model 1996). Odstopanja WGS84 elipsoida od EGM96 so med -105m in 85m. Gauss – Krügerjev referenčni koordinatni sistem je koordinatni sistem projiciran s prečno Mercatorjevo projekcijo. Svet deli na 60 con širine 6° . Ta koordinatni sistem je podrobneje opisan v podpoglavju 2.4.2, kjer je opisana Mercatorjeva projekcija.

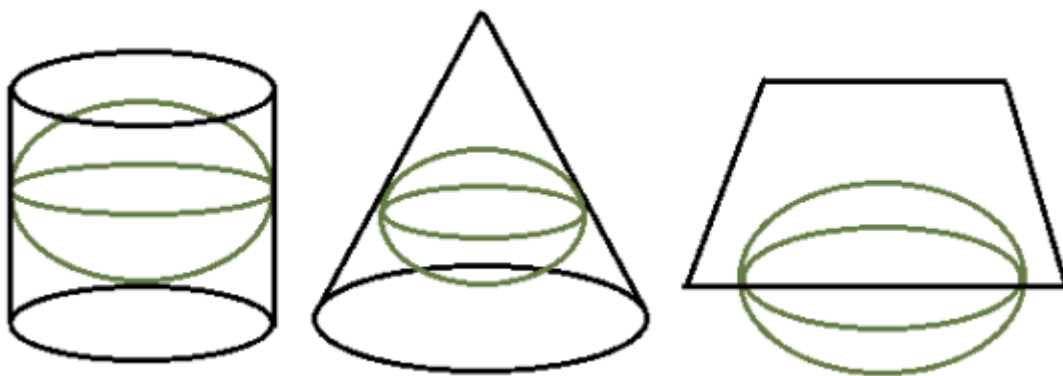
2.4 Projekcije zemljevidov

Iz referenčnega koordinatnega sistema je potrebno podatke prikazati na ravni površini. Dva glavna razloga za projiciranje podatkov na ravnino sta prikaz podatkov (zemljevidi, ekrani) in računanje s koordinatami (kompleksnejše v tridimenzionalnem koordinatnem sistemu). Projekcija referenčnega koordinatnega sistema je metoda, s katero ukrivljeno površje Zemlje upodabljamo na ravnem površju. To pomeni sistematično matematično transformacijo linij zemljepisne širine in dolžine na ravnino. Vedeti pa je treba, da ob vsaki projekciji pride do popačenj na zemlje-

vidu. V glavnem se ob projekciji popačijo razdalje, površine in oblike elementov. Po navadi se osredotočimo na eno od teh lastnosti, za katero poskrbimo, da se ne bo popačila. Še vedno pa lahko pride do popačenja izbrane lastnosti na določenih predelih zemljevida. Glede na izbrano lastnost poznamo različne projekcije, nekatere od teh so:

1. ekvidistantna projekcija, ki ohranja razdalje ene ali več linij, ali ohranja razdalje od ene ali dveh točk do vseh ostalih točk na zemljevidu,
2. projekcija, ki ohranja površine, popači pa oblike, kote, razdalje ali poljubne kombinacije naštetega,
3. konformna projekcija, ki ohranja oblike manjših območij ter kote. Konformna projekcija je ena izmed najpomembnejših projekcij za geografske namene, saj lahko kote izmerjene na površju Zemlje prenesemo na projekcijo. Posledično je to ena izmed najpogostejše uporabljenih projekcij za zemljevide.

Najbolj primerne površine za projekcije so tiste, ki so ukrivljene le v eni dimenziji. Posledično se lahko te površine enostavno razgrnejo v ravnino. Tri najpogostejše uporabljene površine so plašč valja in stožca ter ravnina. Izmed teh izberemo tisto, ki najmanj popači del Zemlje, ki ga želimo projicirati.



Slika 2.9: Slika prikazuje primere uporabe različnih površin za projiciranje. Od leve proti desni so površine na katere se projicira sfera plašč valja, plašč stožca ter ravnina.

Parameter projekcije, ki za posamezno točko pove, do kolikšnega popačenja je v njej prišlo ob projekciji, je faktor skaliranja:

$$k = \frac{\text{razdalja na projekciji}}{\text{razdalja na elipsoidu}}$$

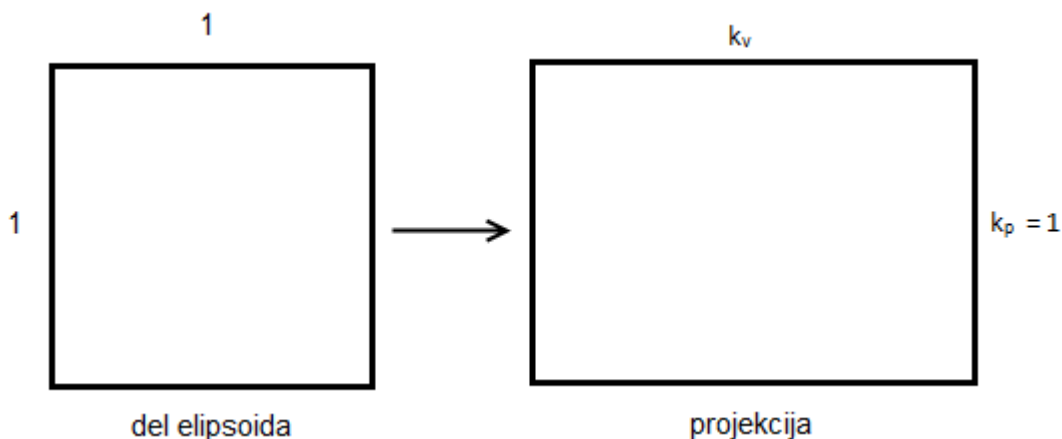
Parameter k ima v vsaki točki projekcije drugačno vrednost in pogosto ima različne vrednosti tudi v različne smeri. Najboljša vrednost parametra k je 1, saj to pomeni, da v točki ni prišlo do popačenja.

2.4.1 Faktor skaliranja in različne vrste projekcij

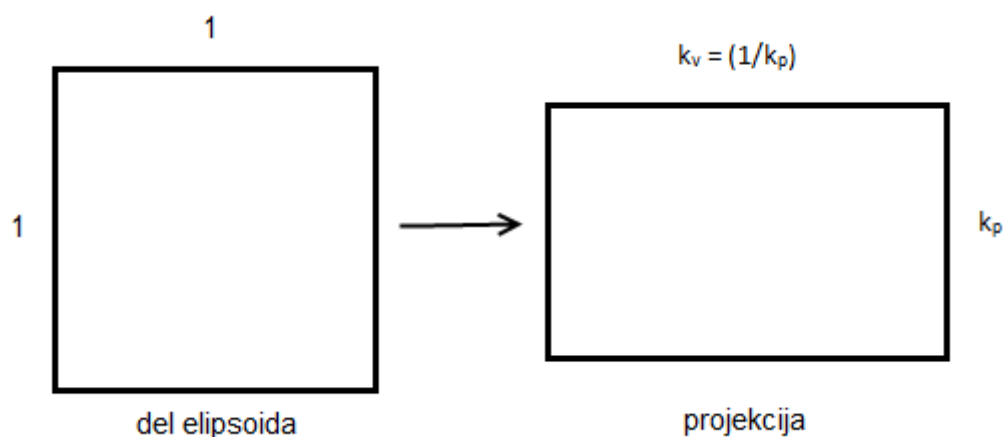
Definirajmo spremenljivki k_v in k_p . Prva predstavlja faktor skaliranja vzdolž vzporednikov, druga predstavlja faktor skaliranja vzdolž poldnevnikov.

Spodnje tri slike prikazujejo primere spreminjanja faktorjev skaliranja vzdolž poldnevnikov in vzporednikov glede na različne projekcije. Kvadrat na levem delu slike prikazuje del elipsoida, desni del slike pa prikazuje popačenje tega kvadrata glede na vrsto projekcije.

Primer obnašanja parametrov k_v in k_p pri ekvidistanti projekciji je, da se ohranjajo razdalje vzdolž vseh poldnevnikov. V tem primeru ima parameter k_p vrednost $k_p = 1$.



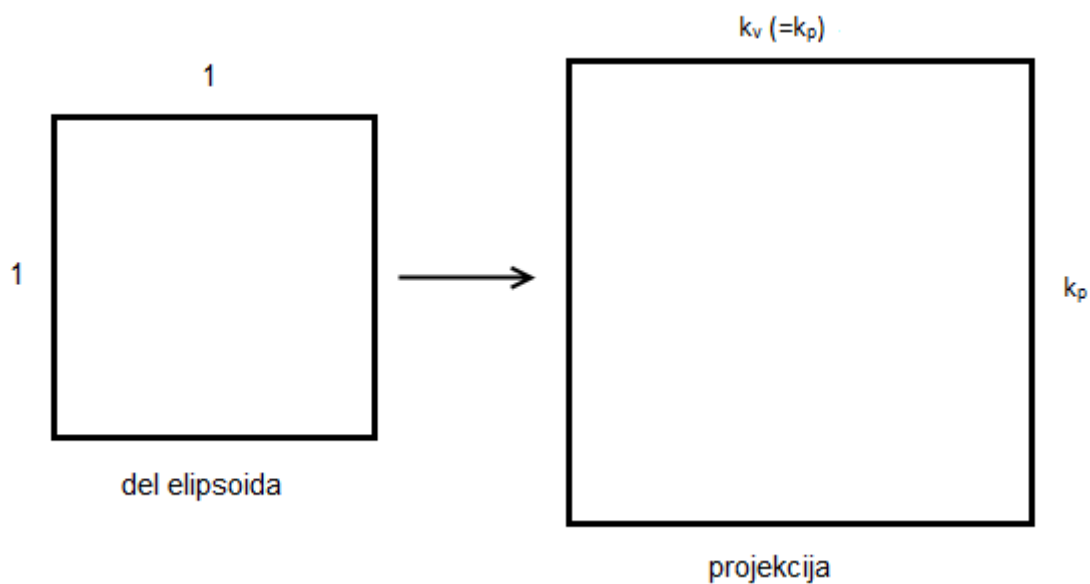
Slika 2.10: Slika prikazuje spremembo površine in oblike lika po ekvidistantni projekciji, medtem ko se ohrani razdalja vzdolž poldnevnikov.



Slika 2.11: Slika prikazuje projekcijo, ki ohranja površino območja.

Zveza med parametri projekcije, ki ohranja površino območja, je $k_p \cdot k_v = 1$.

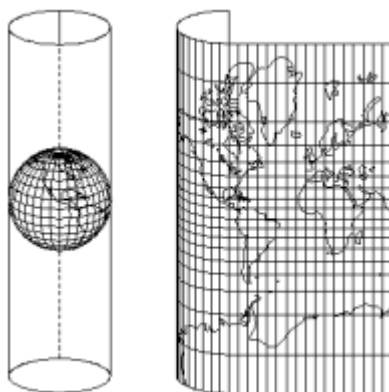
Konformna projekcija je projekcija, ki ohranja oblike in kote, torej je vrednost parametrov enaka $k_p = k_v$.



Slika 2.12: Slika prikazuje primer konformne projekcije, iz katere je razvidna ohranitev kotov in oblike območja.

2.4.2 Cilindrična projekcija

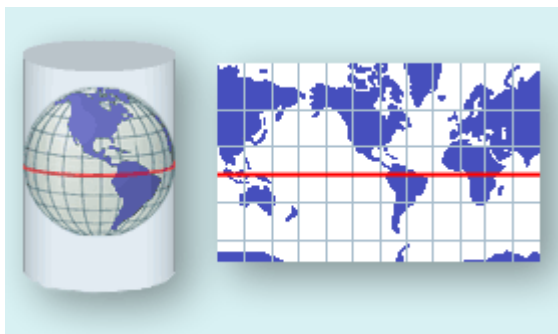
Pri cilindrični projekciji sfero vstavimo v valj tako, da se dotika plašča valja na območju ekvatorja. Projekcija projicira točke s sfere na plašč valja, ki je nato raztegnjen v ravnino.



Slika 2.13: Slika prikazuje, kako se elementi s sfere projicirajo na plašč valja.

Vir slike: [http : //ngwww.ucar.edu/conmaptutorial/ezmap/ezmap.figure.id.3.gif](http://ngwww.ucar.edu/conmaptutorial/ezmap/ezmap.figure.id.3.gif)

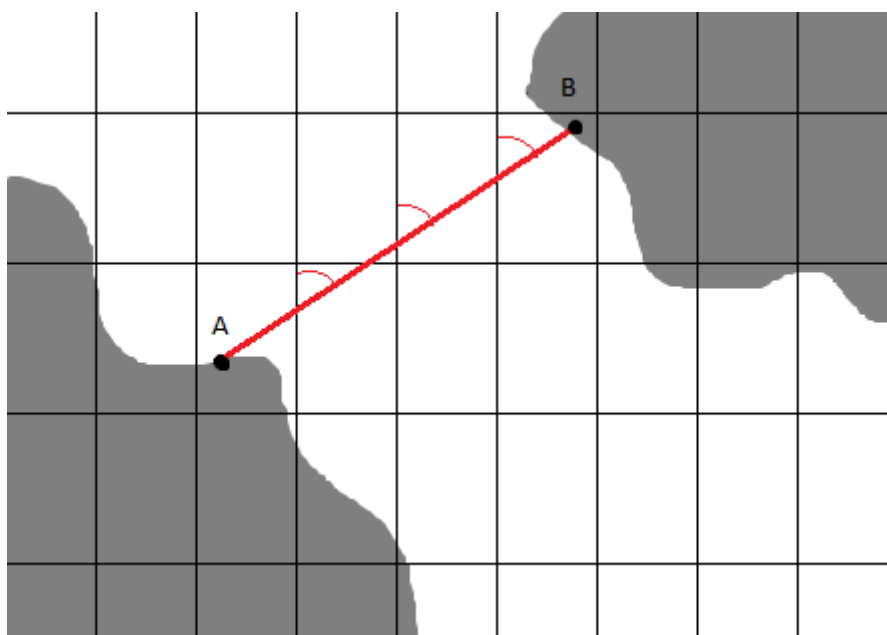
MERCATORJEVA PROJEKCIJA



Slika 2.14: Slika prikazuje Mercatorjevo projekcijo, kjer se sfera dotika valja v ekvatorju. Vir slike: [http : //www.nationalatlas.gov/articles/mapping/IMAGES/mercator.gif](http://www.nationalatlas.gov/articles/mapping/IMAGES/mercator.gif)

Ena najpomembnejših cilindričnih projekcij je konformna projekcija, ki ji pravimo tudi Mercatorjeva projekcija. Pri Mercatorjevi projekciji sta pola raztegnjena čez celotno dolžino zemljevida, kar pomeni, da polov na projekciji ne moremo prikazati.

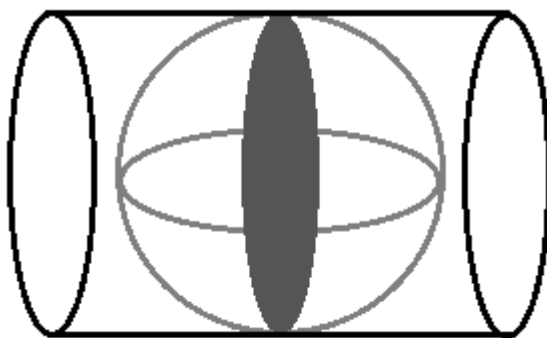
Zaradi vzporednih poldnevnikov in ohranjenih kotov je ta projekcija najprimernejša za navigacijo. Če potegnemo linijo iz točke A v točko B, je kot med daljico in poldnevnikom konstanten. Pri navigaciji iz točke A v točko B je potrebno slediti temu kotu. Mercatorjeva projekcija je primerna za prikazovanje manjših delov sveta, saj je količina popačenega območja odvisna od obsega zemljepisne širine, ki ga predstavlja.



Slika 2.15: Slika prikazuje linijo med točkama A in B s konstantnim kotom med linijo in poldnevnikom na Mercatorjevi projekciji.

PREČNA MERCATORJEVA PROJEKCIJA

Cilindrične projekcije se z elipsoidom ujemajo v ekvatorju, kar pomeni, da je projekcija natančna za predele ob ekvatorju. Bolj ko se oddaljujemo od ekvatorja,



Slika 2.16: Slika prikazuje ujemanje sfere in valja v enem od poldnevnikov.

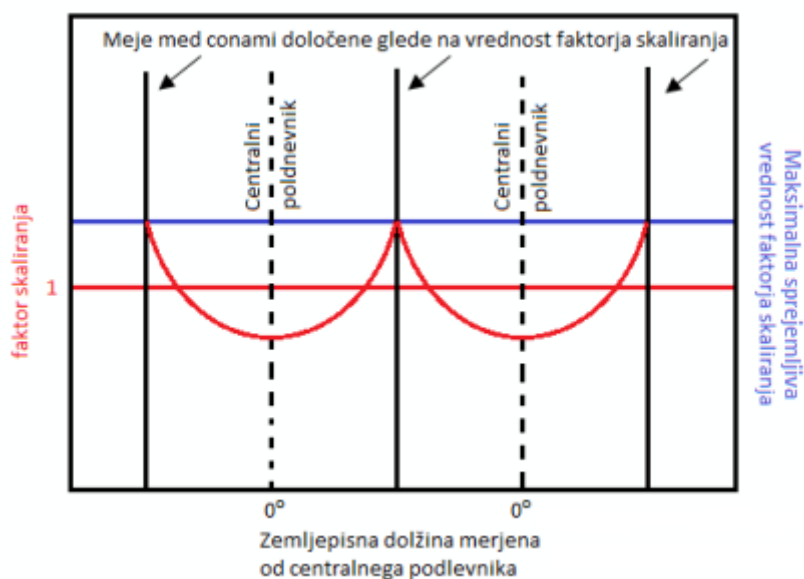
bolj so območja popačena. Rešitev za območja oddaljena od ekvatorja je, da se valj obrne za 90° in se elipsoid stika z valjem v enem izmed poldnevnikov, kot prikazuje slika 2.16. Takšno projekcijo imenujemo prečna cilindrična projekcija.



Slika 2.17: Slika prikazuje prečno Mercatorjevo projekcijo, kjer je poldnevnik, ki se dotika valja, Greenwich. Vir slike: http://standards.sedris.org/18026/text/ISOIEC_18026E_ABSTRACT_CS/image203.png

Najpomembnejša prečna cilindrična projekcija je prečna Mercatorjeva projekcija, pri kateri se valj dotika elipsoida z začetnim poldnevnikom. Ta projekcija je konformna, pri njej poldnevniki niso vzporedni, raven pa je samo začetni poldnevnik. Pri prečni Mercatorjevi projekciji so natančno prikazana območja blizu začetnega poldnevnikoma. Ker je za natančnost pomembna ohranitev parametra k v bližini vrednosti 1, je zemljepisna dolžina območja omejena. Prečno Mercatorjevo projekcijo prikazuje slika 2.17.

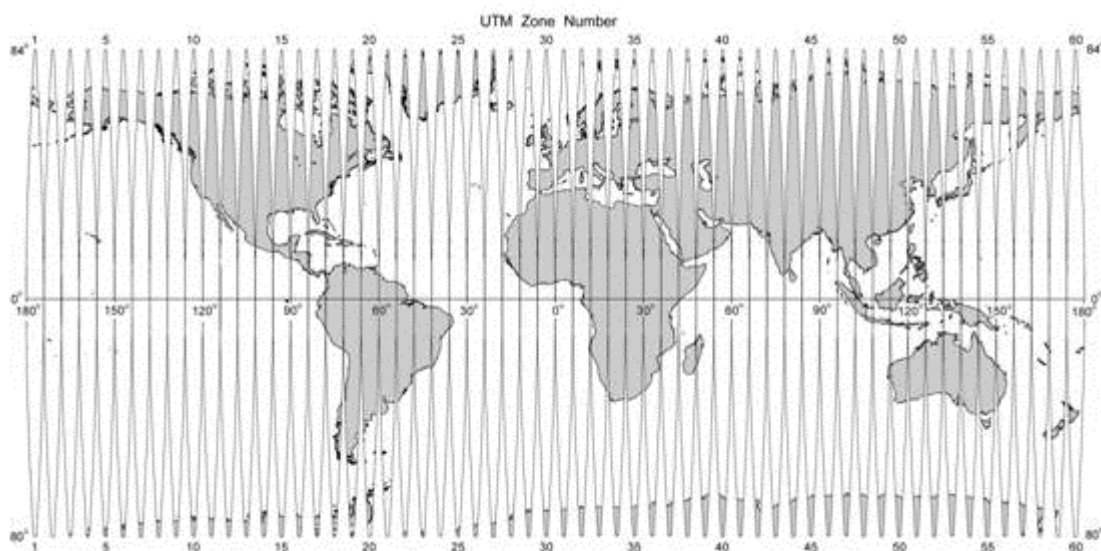
Če želimo natančneje prikazati širše območje zemljepisne dolžine, je rešitev kreiranje dveh ali več con z različnimi centralnimi poldnevniki. Centralni poldnevnik je poldnevnik, v katerem se elipsoid dotika valja. Meja med conami je določena z maksimalno vrednostjo odstopanja faktorja skaliranja od vrednosti 1, oziroma je meja med conami na sredini med centralnima poldnevnikoma obeh con. Maksimalna meja odstopanja faktorja skaliranja je za vse cone enaka in je določena tako, da popačenja na zemljevidu niso prevelika.



Slika 2.18: Slika prikazuje določitev mej med conami glede na maksimalno vrednost odstopanja faktorja skaliranja.

Na tak način lahko prečno Mercatorjevo projekcijo razširimo na celotno območje Zemlje. Razširjena projekcija je osnovna projekcija po celem svetu znana kot UTM (Universal Transverse Mercator). UTM sistem deli svet na 60 con po zemljepisni

dolžini, kjer je vsaka cona široka 6° . Cone so oštevilčene z začetkom 1 na zemljepisni dolžini 180°E in naraščajo proti vzhodu. Vsaka cona je razdeljena na severno in južno hemisfero. Koordinate na jugu so pozitivne z uvedbo negativnega severa (false northing). Centralni poldnevnik vsake cone leži na njeni sredini.



Slika 2.19: Slika prikazuje UTM projekcijo. Vir slike: http://gis.depaul.edu/shwang/teaching/geog258/Grid_files/image008.jpg

V Rusiji, na Kitajskem in v velikem delu kontinentalne Evrope se uporablja Gauss – Krügerjev sistem con. Poznana sta dva sistema, eden ima širino con 6° , drugi pa 3° . Prvi je podoben UTM sistemu, le da se začnejo cone šteti pri coni, katere centralni poldnevnik je Greenwich (3°E).

2.4.3 Azimutna projekcija

Pri azimutni projekciji je površje, na katerega projiciramo, ravnina. Projekcijo formiramo tako, da se ravnina in elipsoid dotikata v eni točki. Ker se ravnina in elipsoid dotikata samo v eni točki, je faktor skaliranja krožno simetričen, kar pomeni, da je proporcionalen z razdaljo od središča projekcije.

Poseben primer projekcije je, ko je stična točka ravnine in modela Zemlje eden izmed polov. Takšni projekciji pravimo polarna projekcija in je primerna za prikaz polarnih območij.



Slika 2.20: Slika prikazuje polarno projekcijo. Vir slike: [http : //www.mgaqua.net/AquaDoc/Projections/img/Polar%20Stereographic.jpg](http://www.mgaqua.net/AquaDoc/Projections/img/Polar%20Stereographic.jpg)

2.4.4 Konična projekcija

Pri konični projekciji je površje, na katerega projiciramo, stožec. Stožec in elipsoid se dotikata v enem od vzporednikov, kateremu pravimo standardni vzporednik. Z različnimi oblikami stožcev lahko dosežemo, da je standardni vzporednik poljubni vzporednik. Vzporednik, ki se bo dotikal stožca, izberemo glede na območje, za katero želimo, da bo na projekciji najbolj natančno. Na projekciji so poldnevnik ravne črte, ki so usmerjene k enemu od polov.

Če želimo računati z informacijami pridobljenimi z zemljevida, moramo poznati projekcijo, njeno metodo in parametre metode. To velja tako za enostavnejše operacije, kot je računanje razdalje med dvema točkama, kot za zahtevnejše operacije, kot je primerjanje podatkov z zemljevida s kakšnimi drugimi podatki npr. podatki s satelitske slike.

2.5 Transformacije med koordinatnimi sistemi

Transformacija je matematična operacija, ki pretvarja koordinate iz enega referenčnega koordinatnega sistema v drugega in vključuje spremembe v datumu. Ker je datum realiziran na podlagi meritev, pri katerih ne moremo zagotoviti popolne natančnosti, vplivajo napake obeh referenčnih koordinatnih sistemov na transformacijo iz enega datuma v drugega.

Konverzija je matematična operacija, ki pretvarja koordinate iz enega referenčnega koordinatnega sistema v drugega in izključuje spremembe v datumu. Zato niso koordinate po konverziji nič manj natančne kot pred njo.

2.5.1 Transformacija med geocentričnimi referenčnimi sistemi

Za transformacijo med geocentričnimi referenčnimi koordinatnimi sistemi potrebuje vsak referenčni koordinatni sistem rotacije, premike in skaliranje.

Osnovna metoda za pretvarjanje med sistemi je tri-parametrična geocentrična translacija. Formula je:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{CILJNI} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{IZVORNI} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_{I \rightarrow C},$$

kjer so $(X, Y, Z)_{CILJNI}$ koordinate sistema v katerega pretvarjamo, $(X, Y, Z)_{IZVORNI}$ koordinate sistema iz katerega pretvarjamo in $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{I \rightarrow C}$ geocentrični translacijski parametri za pretvarjanje iz izvirnega v ciljni koordinatni sistem. Ti parametri so koordinate izhodišča izvirnega koordinatnega sistema, ki so izražene v ciljnem koordinatnem sistemu.

Metoda s tremi parametri, ki upošteva le translacijo, je natančna v točki. Večja ko je površina, ki jo pretvarjamo, manj natančna je metoda, saj bi za večjo natančnost celotnega območja potrebovali tudi parametre za rotacijo in skaliranje.

Za večjo natančnost pri transformiranju tudi na večjih območjih se uporablja sedem-parametrična geocentrična transformacija, ki poleg translacije upošteva tudi rotacijo okoli vseh treh osi in skaliranje.

Formula je:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{CILJNI} = \mu \cdot R \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{IZVORNI} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_{I \rightarrow C},$$

kjer je μ faktor skaliranja med obema koordinatnima sistemoma, R je rotacijska matrika, ostale oznake pa so enake kot pri prejšnji metodi. Rotacijska matrika je zmnožek rotacijskih matrik za posamezno os:

$$R = R_Z \cdot R_Y \cdot R_X = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix},$$

kjer je α kot okoli X osi, β kot okoli Y osi in γ kot okoli Z osi.

Tri- in sedem-parametrična transformacijska metoda sta osnovni metodi za pretvarjanje med geocentričnimi referenčnimi koordinatnimi sistemi. Obstajajo tudi natančnejše metode, ki pa so posledično tudi kompleksnejše.

2.5.2 Transformacija med geografskimi referenčnimi koordinatnimi sistemi

Transformacija med geografskimi referenčnimi koordinatnimi sistemi pretvori elipsoidne koordinate enega geodetskega datuma v vrednosti drugega.

Ena izmed metod za pretvarjanje med referenčnimi koordinatnimi sistemi je Molodensky metoda. Pri tej metodi se spremembe v zemljepisni širini, zemljepisni dolžini in višini med sistemoma doda začetnemu koordinatnemu sistemu, da dobimo koordinate želenega sistema.

$$\begin{pmatrix} \varphi \\ \lambda \\ h \end{pmatrix}_{CILJNI} = \begin{pmatrix} \varphi \\ \lambda \\ h \end{pmatrix}_{IZVORNI} + \begin{pmatrix} \Delta\varphi \\ \Delta\lambda \\ \Delta h \end{pmatrix}_{I \rightarrow C}, \quad (2.1)$$

kjer so parametri φ zemljepisna širina, λ zemljepisna dolžina, h višina, $\Delta\varphi$ razlika v zemljepisni širini, $\Delta\lambda$ razlika v zemljepisni dolžini in Δh razlika v višini. CILJNI koordinatni sistem je tisti, v katerega pretvarjamo koordinate, IZVORNI koordinatni sistem je tisti, iz katerega pretvarjamo in $I \rightarrow C$ so razlike posameznih parametrov med obema koordinatnima sistemoma. Iz formule je razvidno, da so edine informacije, ki jih potrebujemo za transformacijo, spremembe v parametrih elipsoida in translacije teh treh osi. To metodo se lahko uporabi v kombinaciji s poljubno transformacijsko metodo med geocentričnimi koordinatnimi sistemi.

Metoda Molodensky je ena izmed osnovnih metod. Obstajajo tudi kompleksnejše in natančnejše metode transformiranja med geografskimi referenčnimi koordinatnimi sistemi.

2.5.3 Transformacija dvodimenzionalnih ravninskih koordinat

Po navadi je svet predstavljen kot elipsoid in so zato koordinate sveta v tridimenzionalnem koordinatnem sistemu. Ker pogosto gledamo področja sveta ali celoten svet na zemljevidu, je potrebno poznati tudi transformacije med dvodimenzionalnimi koordinatami. Težavnost transformacije je odvisna od podobnosti koordinatnih sistemov, med katerimi želimo pretvarjati. Včasih je možno pretvoriti med sistemi s preprosto linearno transformacijo, včasih pa je formula bolj zahtevna. Težavnost pretvorbe je odvisna od variiranja faktorja skaliranja po celotnem območju transformacije. Parameter r je razmerje med faktorjema skaliranja obeh referenčnih koordinatnih sistemov:

$$r = \frac{k_C}{k_I},$$

kjer je k_C faktor skaliranja sistema, v katerega pretvarjamo in k_I je faktor skaliranja sistema iz katerega pretvarjamo. Če je r znotraj celotnega območja ves čas

približno konstanten, to pomeni, da sta si koordinatna sistema podobna in je med njima možno pretvarjati s preprosto transformacijo.

Za pretvarjanje med poljubnima referenčnima koordinatnima sistemoma imamo na razpolago več metod transformiranja. Uporabnik po navadi izbere tisto, ki čim manj povečuje napake in popačenja sistema in ki uravnava določene kriterije. Vendar pri vsaki transformaciji pride do napak in ni skupne rešitve, ki bi rešila vse probleme.

Poglavje 3

Geografski informacijski sistemi (GIS)

Geografski informacijski sistem (GIS) je učinkovito orodje za zbiranje, shranjevanje, prikaz in upravljanje s prostorskimi podatki ter izvajanje prostorskih analiz na njih. GIS je relativno novo področje, saj se je začelo razvijati leta 1970. Takrat so lahko GIS uporabljali le na računalnikih z ustrezno opremo, ki so jo imela po navadi podjetja in univerze. Poleg tega je moral biti uporabnik GIS-a ustrezno usposobljen. Danes je to enostavnejše, saj lahko GIS uporablja vsak, ki ima doma računalnik.

GIS je sestavljen iz:

- digitalnih podatkov (geografski podatki, ki so prikazani na zemljevidu),
- strojne opreme (računalniki narejeni za urejanje in procesiranje podatkov, ter njihov grafični prikaz),
- programske opreme (programi, ki uporabniku omogočajo uporabo in upravljanje z digitalnimi podatki).

Programski opremi GIS-a pravimo aplikacije GIS, s pomočjo katerih lahko uporabnik gleda zemljevide, kreira nove prostorske podatke, ter jih doda na zemljevid in izvaja prostorske analize. Ena izmed funkcij aplikacij GIS je prikazovanje slojev zemljevida. Sloji so shranjeni v bazi podatkov ali kot datoteke na disku. Vsak

sloj vsebuje informacije o določeni skupini podatkov (npr. ceste, pohodniške poti, avtobusne postaje). Primer prikaza sloja na zemljevidu prikazuje slika 3.1.

Podatki za GIS, ki so prikazani na zemljevidu, vsebujejo geografsko komponento (lokacija), ter opcijsko ne-geografsko komponento (npr. ime ulice). Če podatek vsebuje ne-geografsko komponento, jo lociramo s pomočjo geografske komponente.

Podatki za GIS so shranjeni v dveh oblikah, in sicer v vektorski in rastrski. Vektorski podatki so sestavljeni iz geometrije in atributov. Geometrijo sestavljajo pari koordinat (x, y) , ki opisujejo obliko in lokacijo, atributi pa opisujejo njihove lastnosti (npr. barva, velikost). Vektorski podatki prikazujejo točke, polilinije in poligone in so uporabni za shranjevanje podatkov, ki imajo diskretne meje (državne meje, parcele, ceste). Za shranjevanje vektorskih podatkov se najpogosteje uporablja SHP datoteko, ki je sestavljena iz vsaj treh osnovnih datotek:

- .shp (geometrija vektorskih podatkov),
- .dbf (atributi vektorskih podatkov),
- .shx (indeks, ki omogoča aplikaciji GIS hitrejše iskanje ustreznih podatkov).

Raster je model prostorskih podatkov, ki definira prostor kot zbirko enako velikih celic, urejenih v vrstice in stolpce. Vsaka celica vsebuje atributno vrednost in koordinate, ki so vsebovane v zaporedju mreže celic. Rastrski model podatkov je učinkovit za shranjevanje podatkov, ki se enakomerno spreminjajo, kot so zračna in satelitska fotografija ter nadmorske višine. Na površjih, kjer se podatki spreminjajo, vektorski prikaz podatkov ni učinkovit. Primer: imamo pokrajino, kjer so z vektorskimi podatki lahko prikazane ceste, reke in hiše. Problem pa je prikaz travnatih območij, kjer barva ni enotna. Z vektorskim podatkovnim modelom bi lahko označili travnato območje s poligonom, a bi bil celotni poligon pobarvan z enako barvo.



Slika 3.1: Spodnji del slike prikazuje uporabo sloja za kmetijsko rabo zemljišč na zemljevidu, ki je prikazan na zgornjem delu slike. Slika je vzeta z zemljevida aplikacije PISO podjetja Realis. Vir slike: [http : //www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina = BOVEC](http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=BOVEC)

3.1 .prj datoteka

Datoteka s končnico .prj vsebuje informacije o geografskem koordinatnem sistemu geometrijskih podatkov. PRJ datoteke so po navadi generirane skupaj s SHP da-

totekami, na podatke katerih se tudi nanašajo. Kreirane so v označevalnem jeziku WKT (Well-known text), ki se ga uporablja za prikazovanje objektov vektorske geometrije na zemljevidih, projekcije ter transformacije med njimi.

Primer PRJ datoteke zapisane z WKT:

```
GEOGCS["WGS 84",DATUM["WGS_1984",SPHEROID["WGS
84",6378137,298.257223563,AUTHORITY["EPSG","7030"]],
TOWGS84[0,0,0,0,0,0],AUTHORITY["EPSG","6326"]],
PRIMEM["Greenwich",0,AUTHORITY["EPSG","8901"]],
UNIT["degree",0.0174532925199433,AUTHORITY["EPSG",
"9108"]], AUTHORITY["EPSG","4326"]]
```

Slika 3.2: Slika prikazuje primer PRJ datoteke. Vir: <http://en.wikipedia.org/wiki/Shapefile>

Polja v PRJ datoteki:

- Koordinatni sistem – GEOGCS
- Datum - DATUM
- Sferoid - SPHEROID
- Enota – UNIT
- Glavni poldnevnik – PRIMEM

3.2 .bt datoteka

BT datoteka je binarna datoteka s končnico .bt (binary terrain), ki se jo uporablja za lažje branje in shranjevanje podatkov o terenu.

BT datoteke imajo glavo velikosti 256 bajtov, ki ji sledi mreža podatkov. V glavi so zapisani podatki o številu stolpcev in vrstic, velikosti podatkov, minimalni x in y koordinati, maksimalni x in y koordinati, ter še nekaj drugih. Sestava glave je prikazana v tabeli 3.1. Podatki o terenu, ki sledijo glavi, so urejeni po vrsticah in stolpcih glede na koordinati x in y , in sicer v naraščajočem zaporedju. Če

je mreža dimenzije 20×10 , ima mreža 20 stolpcev z 10 vrednostmi. Korak med koordinatami x in koordinatami y je konstanten. Vsak naslednji x ustreza naslednjemu stolpcu datoteke, naslednji y pa ustreza naslednji vrstici. Na določeni poziciji v datoteki je tako zapisana le informacija o višini, saj se da koordinati x in y izračunati iz podatkov, ki jih preberemo iz glave.

Če želi uporabnik dobiti natančno višino, mora prebrano vrednost pomnožiti z elementom merilo iz glave datoteke. Če za določeno pozicijo v datoteki ni podatka o višini, je zapisana vrednost *-32768*. Vse vrednosti, tako v glavi kot podatki, so shranjene po pravilu tanjšega konca.

Če projekcija ni opisana v glavi datoteke, je zapisana v zunanji datoteki s končnico *.prj*. Ta datoteka mora biti shranjena na isti lokaciji ter z enakim imenom kot binarna datoteka, katere projekcijo opisuje. PRJ datoteka mora vsebovati tekstovni opis koordinatnega sistema BT datoteke.

Mesto	Dolžina	Vsebina	Opis
0	10	"binterr1.3"	Identifikator BT 1,3 datoteke
10	4 (int)	Stolpci	Število stolpcev v datoteki
14	4 (int)	Vrstice	Število vrstic v datoteki
18	2 (short)	Velikost podatkov	Število bajtov na zapis višine (2 ali 4)
20	2 (short)	Plavajoča vejica	Če je 1, so podatki v plavajoči vejici (float), drugače so podatki shranjeni kot cela števila (int)
22	2 (short)	Enota	0: stopinje, 1: metri, 2: čevlji (internacionalen = 0,3048 m), 3: čevlji (ameriška merska enota = 1200/3937 m)
24	2 (short)	UTM cona	1 – 60 če je datoteka v UTM coni; negativne vrednosti cone so za južno hemisfero
26	2 (short)	Datum	Datum
28	8 (double)	Min x koordinata	Minimalna vrednost koordinate x
36	8 (double)	Max x koordinata	Maksimalna vrednost koordinate x
44	8 (double)	Min y koordinata	Minimalna vrednost koordinate y
52	8 (double)	Max y koordinata	Maksimalna vrednost koordinate y
60	2 (short)	Projekcija	0: projekcija je zapisana v glavi BT datoteke, 1: projekcija je zapisana v zunanji .prj datoteki
62	4 (float)	Merilo	V metrih, ponavadi je vrednost 1,0. Če je vrednost enaka 0,0, se interpretira kot 1,0
66 - 255	190	Neuporabljeno	Bajti z vrednostjo 0, za razširitev glave datoteke

Tabela 3.1: Tabela prikazuje sestavo glave BT datoteke.

Poglavje 4

Orodje Elevation

Za spletno aplikacijo na področju geografskih informacijskih sistemov, ki uporabnikom omogoča enostavnejši vpogled v podatke vključene na zemljevidu sem razvila orodje. Naloga je bila, da orodje za točke, ki jih uporabnik označi na zemljevidu, vrne njihove višine. Ker se te višine nato uporabijo za izris profila terena označenega območja, mora orodje vrniti tudi višine vseh točk na daljicah med označenimi točkami.

Orodje smo poimenovali Elevation. Glavni razred je ElevationGenerator, ki vsebuje vse potrebne metode za pridobivanje višin in je podedovan od vmesnika IElevationGenerator.

Glavni metodi razreda ElevationGenerator sta:

- GetHeight, katere parametri so koordinati x , y , ter koordinatni sistem koordinat. Ta metoda za vneseno točko vrne njeno višino.
- GetProfile, katere parametri so seznam (x, y) koordinat, korak, dolžina, ter koordinatni sistem. Parameter dolžine pove, na kakšni dolžini se bo izrisal graf terena. Parameter koraka pove, na kolikšen korak se kliče metoda GetHeight.

Orodje ima še dva pomožna razreda in sicer BTFile, ki z branjem BT datotek pridobi potrebne podatke o datoteki in želeno višino, ter BTCell, ki vsebuje po-

datke o celicah posamezne BT datoteke.

Pri razvijanju orodja smo morali biti pozorni na ujemanje geografskih koordinatnih sistemov med podatki in označenimi točkami, časovno zahtevnost pri branju podatkov ter na zagotovilo vračanja najbolj natančnih podatkov.

Če se geografski koordinatni sistemi podatkov ne ujemajo, lahko pride pri branju višin iz datotek do napak. Vsaka binarna BT datoteka vsebuje podatek o območju, katerega pokriva, ustrezna PRJ datoteka pa vsebuje podatek o koordinatnem sistemu, v katerem so podatki območja. Če se koordinatni sistem točk, ki jih uporabnik vnese ne ujemajo s koordinatnim sistemom, v katerem so podatki v BT datoteki, orodje ne bo našlo BT datoteke s podatki iz zahtevanega območja ali pa bo prebralo podatke iz napačne datoteke. Da do takšnih napak ne pride, smo v orodje vpeljali knjižnico *Realis.RMap.Gis*. Knjižnica vsebuje metode, s katerimi v orodju preverimo ujemanje koordinatnih sistemov, ter s katerimi v primeru neujemanja pretvorimo koordinate iz enega koordinatnega sistema v drugega.

Pri branju višin iz binarnih datotek smo imeli na razpolago tri možnosti:

- Ko se za posamezno BT datoteko inicializira razred *BTFile*, jo ta odpre, prebere ustrezne podatke in pusti odprto. Vse BT datoteke se nato zaprejo čisto na koncu izvajanja orodja. Pri tem je problem, da so odprte tudi tiste datoteke, iz katerih se ne bo bralo.
- Ko se za posamezno BT datoteko inicializira razred *BTFile*, jo ta odpre, prebere ustrezne podatke in zapre. Nato se posamezno BT datoteko odpre samo, kadar se iz nje bere. Do zapiranja pride na koncu metode *GetHeight*.
- Ko se za posamezno BT datoteko inicializira razred *BTFile*, jo ta odpre, prebere ustrezne podatke in zapre. Nato se posamezno BT datoteko odpre in takoj zapre, kadar se iz nje bere.

Po testiranju smo ugotovili, da je prva verzija najhitrejša. Ker pa nismo želeli imeti vseh datotek odprtih ves čas izvajanja orodja in ker je druga verzija od prve počasnejša le za nekaj stotink sekunde, smo se vseeno odločili v orodju obdržati

drug verzijo. Tabeli 4.1 in 4.2 prikazujeta rezultate meritev. Vsakega od treh načinov zapiranja datotek smo testirali na večkratnem klicu metode GetProfile na eni in 3258 datotekah. Tabela 4.1 prikazuje rezultate meritev na 10000 ponovitvah, tabela 4.2 pa prikazuje rezultate na 100000 ponovitvah.

Zapiranje datotek na koncu		Zapiranje datotek na koncu metode GetHeight		Zapiranje datotek sproti	
1 datoteka	3258 datotek	1 datoteka	3258 datotek	1 datoteka	3258 datotek
116,7 ms	703,1 ms	170,5 ms	737,9 ms	550,9 ms	1041,9 ms

Tabela 4.1: Tabela prikazuje rezultate meritev na 10000 ponovitvah.

Zapiranje datotek na koncu		Zapiranje datotek na koncu metode GetHeight		Zapiranje datotek sproti	
1 datoteka	3258 datotek	1 datoteka	3258 datotek	1 datoteka	3258 datotek
1634,6 ms	6980,7 ms	1644,4 ms	7369,8 ms	5417,3 ms	10462,1 ms

Tabela 4.2: Tabela prikazuje rezultate meritev na 100000 ponovitvah.

Za posamezno območje na zemljevidu imamo lahko na razpolago več podatkov, med katerimi so nekateri bolj natančni kot drugi. Naloga je bila, da za območje, ki ima več podatkov, orodje prebere tiste, ki so najbolj natančni. To smo naredili s pomočjo parametra velikost celice. Ta parameter smo izračunali iz parametrov število stolpcev, minimalna vrednost x , ter maksimalna vrednost x , ki so prebrani iz glave BT datoteke. Parameter velikost celice pove, na koliko metrov v naravi datoteka vsebuje podatek o višini. Torej če je parameter velikost celice enak 25, to pomeni, da se x in y v BT datoteki povečujeta za 25 in so za območje, ki ga pokriva datoteka, podani podatki o višini na 25 metrov natančno.

Ob inicializaciji posamezne BT datoteke, orodje izračuna parameter velikost celice in si ga zapomni. Ko so inicializirane vse BT datoteke, se njihov vrstni red preuredi tako, da se preverjanje prekrivanja območja zgodi najprej v datotekah z najmanjšo velikostjo celic in nazadnje v datotekah z največjo velikostjo celic.

4.1 Razred BTCell

Metoda `GetProfile` v razredu `ElevationGenerator` na določen korak kliče metodo za pridobivanje višine neke lokacije. Ker so podatki različno natančni, se lahko zgodi, da se kliče višina ne le iz iste BT datoteke, temveč tudi iz iste celice. Če se kliče višino iz iste celice večkrat, lahko pride do stopničastega izrisa profila terena, kar ni želeno.

Zato smo orodju dodali pomožni razred `BTCell`, ki hrani določene podatke o posamezni BT datoteki. Iz teh podatkov je razvidno, iz katere celice v BT datoteki se bere višina.

V metodi `GetProfile` pri vsakem klicu metode `GetHeight` s pomočjo razreda `BTCell` preverimo, če se je prejšnja višina prebrala iz trenutne celice in s tem preprečimo podvojeno branje.

4.2 Razred BTFile

Razred `BTFile` inicializira BT datoteko z branjem glave datoteke, ter vsebuje metode za branje ustrezne višine, preverjanje, če BT datoteka vsebuje podatke za vnesene koordinate, ter za zapiranje datoteke.

Pri inicializaciji se iz glave BT datoteke preberejo potrebni podatki, kot so število vrstic in stolpcev, v katerem formatu so podatki zapisani, minimalno in maksimalno vrednost x in y koordinate. Vse te vrednosti in vrednosti izračunane iz prebranih vrednosti o posamezni BT datoteki se hranijo v razredu `BTFile`.

Za pridobivanje višine sta v razredu `BTFile` dve metodi. Prva se glede na celi števili, ki predstavljata številko stolpca in številko vrstice, postavi na ustrezno mesto v datoteki in prebere višino.

Druga metoda za pridobivanje višine sprejme kot parametre prav tako številko stolpca in vrstice, vendar v decimalni vrednosti. Zaradi napake pri pretvarjanju stolpca in vrstice v celi števili ta metoda kliče prej opisano metodo štirikrat, še za tri sosednje vrednosti stolpca in vrstice. Primer: če pri pretvorbi v celi števili

```
private double GetHeight(int c, int r)
{
    _br.BaseStream.Seek((256 + (c * _nrows + r) * _dataSize), SeekOrigin.Begin);
    var value = _method();

    if (value == ElevationGenerator.NODATA)
        return double.NaN;

    return value * _verticalUnits;
}
```

Slika 4.1: Na sliki je prikazana metoda GetHeight. Funkcija Seek omogoči, da se postavimo na želeno mesto v datoteki. Ker beremo iz BT datoteke, moramo preskočiti prvih 256 bajtov, ki predstavljajo glavo.

dobimo vrednost za stolpec 2 in za vrstico 3, se kliče metoda za branje višine še za par (stolpec, višina) za vrednosti (2,4), (3,3) in (3,4). Za natančnejše pridobivanje višine na teh štirih dobljenih vrednostih izvedemo bilinearno interpolacijo.

Pri bilinearni interpolaciji se najprej dvakrat izvede linearna interpolacija po stolpcih za vsako vrstico posebej. Nato sledi še linearna interpolacija po vrsticah glede na že izvedeni linearni interpolaciji.

Oznaki: $cc = c - \lfloor c \rfloor$, $rr = r - \lfloor r \rfloor$.

Formula linearne interpolacije po stolpcih:

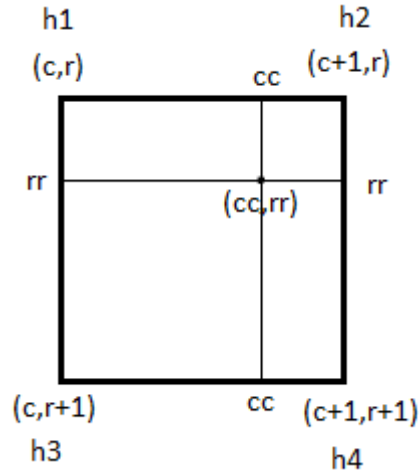
$$f(c, r1) = \frac{c + 1 - cc}{c + 1 - c} h1 + \frac{cc - c}{c + 1 - c} h2,$$

$$f(c, r2) = \frac{c + 1 - cc}{c + 1 - c} h3 + \frac{cc - c}{c + 1 - c} h4$$

Ker je izvajanje bilinearne interpolacije neodvisno od tega, v kateri celici se nahajamo oziroma je neodvisno od številke stolpca in vrstice, lahko zgornjo enačbo poenostavimo s predpostavko $r = c = 0$:

$$f(c, r1) = (1 - cc) h1 + cc h2$$

$$f(c, r2) = (1 - cc) h3 + cc h4$$



Slika 4.2: Slika prikazuje bilinearno interpolacijo štirih celic, ki hranijo višine, glede na vrednosti cc in rr .

Formula bilinearne interpolacije:

$$\begin{aligned}
 f(c, r) &= \frac{r + 1 - rr}{r + 1 - r} f(c, r1) + \frac{rr - r}{r + 1 - r} f(c, r2) \\
 &= (1 - rr) ((1 - cc) h1 + cc h2) + rr ((1 - cc) h3 + cc h4) \\
 &= h1 (1 - rr) (1 - cc) + h2 (1 - rr) cc + h3 (1 - cc) rr + h4 cc rr \\
 &= h1 + cc (h2 - h1) + rr (h3 - h1) + cc rr (h1 - h2 - h3 + h4)
 \end{aligned}$$

Z bilinearno interpolacijo dosežemo, da so višine, ki jih metoda vrne, bolj natančne. Pri uporabi bilinearne interpolacije upoštevamo tudi to, v katerem delu celice se nahajamo, saj se pri izračunu višine upošteva tudi bližino celic. Torej imajo tiste celice, ki so bližje vneseni točki, večji vpliv na končno izračunano višino kot tiste, ki so bolj oddaljene. Posledično je z uporabo bilinearne interpolacije bolj natančen tudi izris podatkov.

4.3 Razred ElevationGenerator

Razred ElevationGenerator je podedovan od vmesnika IElevationGenerator, torej vsebuje njegovi metodi. Ti sta GetHeight in GetProfile. Poleg glavnih metod vse-

buje tudi nekaj pomožnih.

Konstruktor razreda vzame kot parameter pot do direktorija z BT datotekami. V njem se inicializira pomožni razred BTFile za vsako BT datoteko vsebovano v direktoriju. BT datoteke so shranjene v urejenem seznamu glede na natančnost podatkov.

V konstruktorju se določi tudi generalni koordinatni sistem. To je narejeno tako, da je generalni koordinatni sistem enak koordinatnemu sistemu BT datotek, če so vsi podatki v datotekah v istem koordinatnem sistemu. Če pa se podatki v BT datotekah ne ujemajo v koordinatnem sistemu, je generalni koordinatni sistem WGS84. V generalnem koordinatnem sistemu je tudi ovojnica, ki določa minimum in maksimum koordinati x in y območja, ki ga pokrivajo BT datoteke. Ovojnica služi orodju kot preventivno preverjanje, če BT datoteke sploh vsebujejo podatke o vnesenih koordinatah.

4.3.1 Metoda GetHeight

Metoda GetHeight za vneseni koordinati x in y vrne višino točke (x, y) . Osnovna metoda ima tri parametre: koordinati x in y ter koordinatni sistem. V razredu je definirana tudi metoda GetHeight brez zadnjega parametra, ki za koordinatni sistem točk vzame generalnega, če so vse BT datoteke v istem koordinatnem sistemu. Če niso, orodje vrne napako.

Metoda ima tri parametre, saj to zahteva vmesnik. Ker pa za pravilno delovanje orodja potrebujemo še seznam odprtih BT datotek, ter celico, iz katere se bere, je definirana pomožna metoda GetHeightInternal, ki ima poleg osnovnih treh parametrov še našteta dva. Prvi dodatni parameter potrebujemo za zapiranje le tistih BT datotek, ki so odprte. Drugega pa potrebujemo za v poglavju 4.1 omenjen problem branja iz iste celice. V metodi GetHeightInternal poskrbimo za ujemanje koordinatnih sistemov in preverimo, če imamo podatke o višinah za zahtevane koordinate. Nato se sprehodimo po BT datotekah in preberemo višino iz prve, ki vsebuje ta podatek. Ker je v konstruktorju seznam urejen glede na velikost celice, je prva BT datoteka, ki vsebuje podatek o višini tudi najbolj natančna.

Stolpec in vrstico, iz katere se prebere višina, sta izračunana po formuli:

```
double c = (coordinates.x - btFile.Min.x) / btFile.CellSize;  
double r = (coordinates.y - btFile.Min.y) / btFile.CellSize;
```

Slika 4.3: Slika prikazuje formulo, po kateri se izračunata stolpec in vrstica, ki določata celico, iz katere se bo bralo.

Kjer je:

- `coordinates.x` x koordinata točke,
- `btFile.Min.x` minimalna vrednost x , ki jo pokriva BT datoteka,
- `coordinates.y` y koordinata točke,
- `btFile.Min.y` minimalna vrednost y , ki jo pokriva BT datoteka,
- `btFile.CellSize` velikost celice BT datoteke, iz katere bomo brali.

Z decimalno vrednostjo stolpca in vrstice se nato kliče metoda za branje višine v razredu `BTFile`, ki je opisana v poglavju 4.2.

4.3.2 Metoda `GetProfile`

Metoda `GetProfile` za podane točke in točke na daljici med njimi vrne seznam višin. Ta seznam se nato lahko uporabi za izris profila terena, izohips, vidnega stika.

Parametri metode so seznam točk (parov x in y), korak, ki določa razdaljo med vmesnimi točkami, za katere se kliče metoda `GetHeight`, dolžina, ki določa dolžino grafa po x osi, ter koordinatni sistem, v katerem so točke.

Korak po x osi, je razdalja med točkami, na katero zahtevamo višino. Problem pri podanem koraku je, če je premajhen glede na parameter dolžine. V tem primeru se metoda `GetHeight` kliče večkrat na piksel. Takšna natančnost je nesmiselna, saj s tem orodje ni nič bolj učinkovito, le poveča se njegova časovna zahtevnost. Zato v tem primeru koraku priredimo novo vrednost po formuli na sliki 4.4. Zanka na

sliki se sprehodi po vseh parih (x, y) in izračuna dolžino (spremenljivka l) linije, ki jo dobimo, če povežemo točke z daljicami. Koraku nato pripišemo večjo izmed vrednosti trenutnega koraka ter normirane dolžine linije z dolžino grafa po x osi. Z normiranjem dobimo dolžino, ki jo predstavlja en piksel na grafu. S tem korak prilagodimo glede na dolžino linije ter dolžino grafa in zagotovimo, da korak ni premajhen.

```
for (int i = 1; i < points.Length / 2; i++)
{
    x = points[i * 2 - 2];
    y = points[i * 2 + 1 - 2];

    double dx = points[i * 2] - x;
    double dy = points[i * 2 + 1] - y;
    l += Math.Sqrt(dx * dx + dy * dy);
}

step = Math.Max(step, l / length);
```

Slika 4.4: Slika prikazuje formulo, po kateri se izračuna korak.

V metodi `GetProfile` se sprehodimo po vseh točkah in v seznam shranjujemo njihove višine. Za pridobivanje višin v točkah, ki so med podanimi točkami, se uporablja naslednji algoritem. Za vsak par točk podanih kot parameter izračunamo dolžino linije med njima. Korak prilagodimo njeni dolžini tako, da ga normiramo. Nato se s tem korakom sprehodimo od 0 do 1. Glede na korak izračunamo vrednosti x in y , ter za izračunano točko zahtevamo višino.

```
double dl = Math.Sqrt(dx * dx + dy * dy);
double dt = step / dl;

for (t = dt; t < 1.0; t += dt)
{
    x = points[i * 2 - 2] + t * dx;
    y = points[i * 2 + 1 - 2] + t * dy;
    tl += step;
```

Slika 4.5: Slika prikazuje normiranje koraka, ter izračun koordinat x in y glede na vrednost t , ki se povečuje za normiran korak.

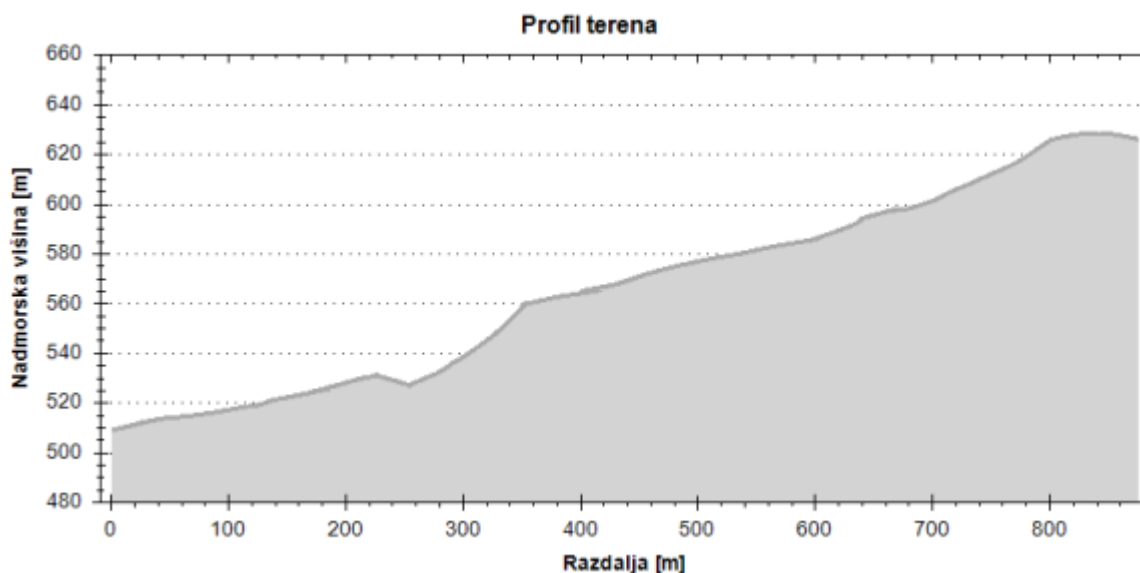
Da ne pride do stopničastega izrisa, moramo paziti, da ne beremo višin večkrat

zapored iz iste celice. Kot sem že omenila, si pri tej težavi pomagamo s pomožnim razredom BTCell. Vsakič ko se prebere višina, si orodje zapomni celico, iz katere se je bralo. Ko se prebere naslednja višina, se preveri, če je celica ista. Če je ista, se višina ne doda v seznam višin.

4.4 Uporaba orodja Elevation v praksi

Trije izmed mnogih možnih načinov uporabe orodja ElevationGenerator v praksi so izris profila terena, vidnega stika ter izohips.

1. Izris profila terena



Slika 4.6: Slika prikazuje primer izrisa profila terena. Takšen prikaz je primeren za ogled reliefa pešpoti, kolesarske poti, ceste.

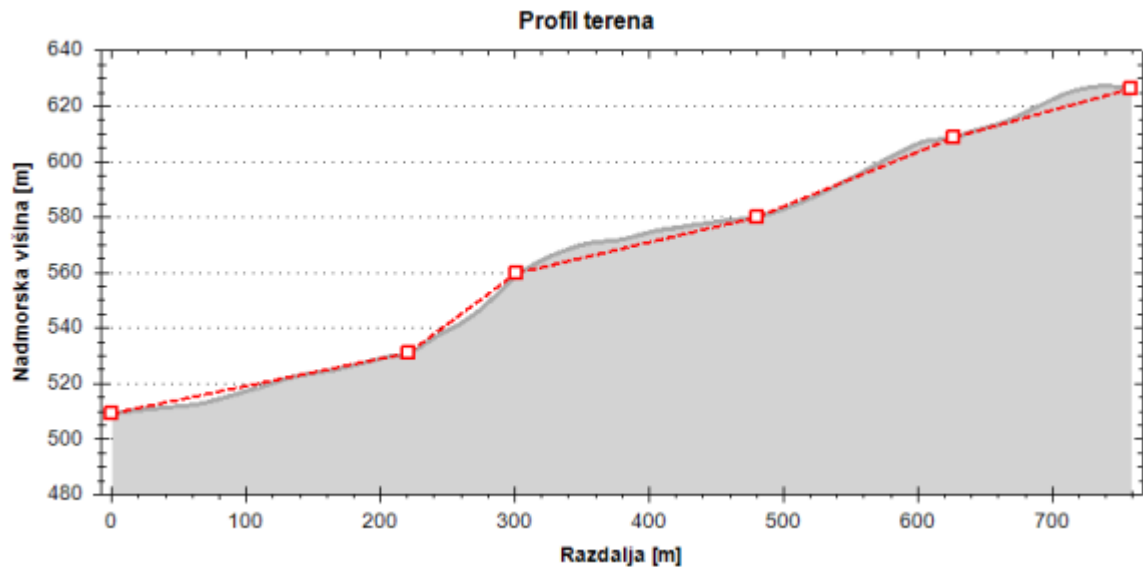


Slika 4.7: Slika prikazuje označeno pot na zemljevidu, ki je uporabljena za izris profila terena na sliki 4.6. Pot je vzeta iz spletnega zemljevida Google Zemljevidi. Iz zemljevida so razbrane koordinate točk, ki so nato vnesene v nekoliko prirejeno spletno aplikacijo, ki že uporablja orodje ElevationGenerator. Vir slike: <https://www.google.si/maps/place/Stra%C5%BEa/@46.3601295,14.1046411,749m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x477a96cab445216d:0xfdf2951b62abd3f4>

2. Vidni stik

Namen vidnega stika je, da uporabniku prikaže, ali se iz ene lokacije vidi na drugo s prostim očesom ali ne. Na sliki 4.8 so te točke prikazane z rdečimi kvadrati, vidni stik pa velja za dve sosednji točki. Če rdeča črtkana linija seka relief, se do naslednje točke ne vidi. Če pa rdeča črtkana črta ne seka

reliefa pomeni, da se naslednjo točko vidi.

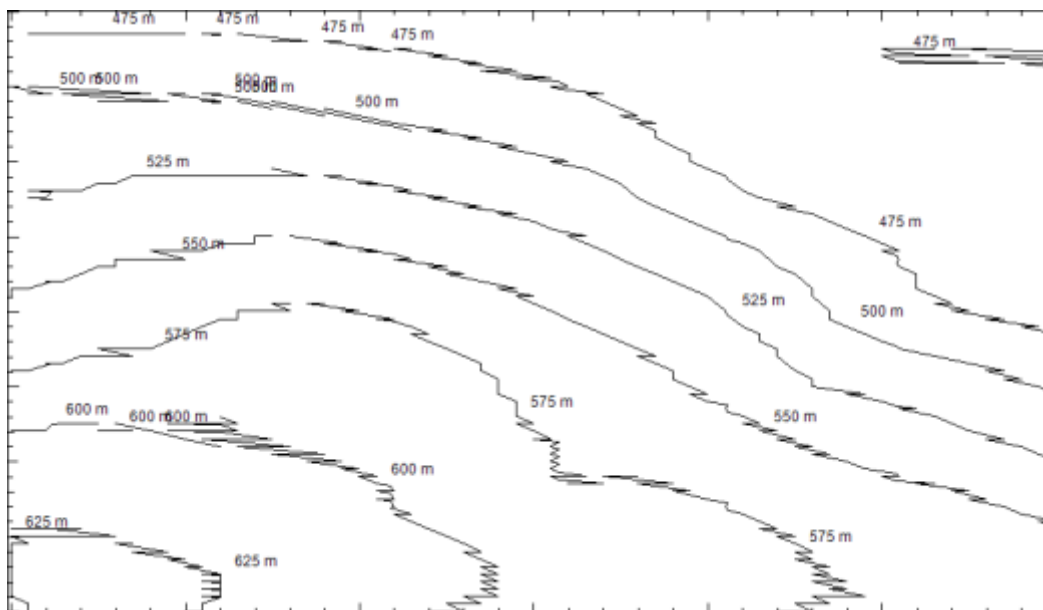


Slika 4.8: Slika prikazuje izris vidnega stika.

3. Izris izohips

Še en način uporabe orodja Elevation je izris izohips nekega območja, kar prikazuje slika 4.9.

Program izrisuje izohipse na 25 metrov višine. Za vsako višino se sprehodi po seznamu višin območja, ki ga dobimo z orodjem Elevation. Če se prebrana višina ujema s trenutno višino izrisa, si program to zapomni v binarnem seznamu (če se višina ujema, se shrani 1, če se višina ne ujema, se shrani 0). Zaradi nenatančnosti podatkov, je dopuščeno, da se višina razlikuje do 1,5 metra. Za vsako točko, ki ima v binarnem zapisu vrednost 1, si program zapomni njen indeks ter koordinate. Nato za vsako točko, ki jo želimo dodati k trenutni izohipsi, program preveri, če je katera izmed ostalih točk izohipse v eni izmed osmih sosednjih celic. Če je, jo doda izohipsi.



Slika 4.9: Slika prikazuje izris izohips določenega območja. Zaradi nena-
tančnosti podatkov črte v izrisu skačejo, saj so bili na razpolago le podatki s
25 metrsko natančnostjo.

Poglavje 5

Zaključek

V diplomski nalogi je opisano orodje Elevation ter njegov razvoj. Glavni cilj je bil prebrati višine ustreznih lokacij iz binarnih datotek ter njihov izris v obliki profila terena oziroma vidnega stika. Cilj je bil dosežen, tako da je orodje že vključeno v aplikacijo PISO podjetja Realis. Ker je bil namen razvoja orodja uporaba izrisa v aplikaciji PSIO, je dosežen tudi namen.

Ob razvoju orodja smo prišli do številnih nalog, ki jih je bilo potrebno rešiti. Kot je že omenjeno v diplomski nalogi, so bile glavne naloge, ki jih je bilo potrebno razrešiti čim bolj učinkovito, tri. Prva je bila upoštevanje možnosti uporabe različnih koordinatnih sistemov in transformacija med njimi. To smo razrešili s pomočjo uporabe knjižnice podjetja Realis.RMap.Gis. Druga je bila časovna optimizacija branja višin iz datotek. To smo razrešili tako, da smo tri možne rešitve branja časovno testirali in na koncu uporabili najustreznejšo. Tretja naloga pa je bila zagotavljanje maksimalne natančnosti višine izbrane lokacije. Prvi del reševanja te naloge smo rešili tako, da smo vrstni red branja iz binarnih datotek priredili glede na natančnost podatkov v datotekah. Vrstni red datotek smo preuredili tako, da so na začetku tiste z najnatančnejšimi podatki. Drugi del rešitve naloge predstavlja vpeljava bilinearne interpolacije prebranih višin iz štirih sosednjih celic.

Kar bi se v orodju še dalo popraviti, je preskok v izrisu profila terena, do katerega pride, če so podatki v datotekah označenih lokacij v različni natančnosti. V takšnem primeru bi bila ena izmed rešitev, da se tisti podatki,

ki so natančnejši, vseeno preberejo iz datoteke z manjšo natančnostjo, da do tega preskoka ne pride oziroma je manjši. Še ena možna rešitev bi bila dodatna interpolacija na več točkah, kjer bi bil del višin prebran iz datoteke z natančnejšimi podatki, drugi del višin pa bi bil prebran iz datoteke z manj natančnimi podatki. S tem bi v izrisu dosegli bolj gladek prehod.

Literatura

- [1] I. N. Bronstein, K. A. Semendjajev, G. Musiol, H. Mühlig, *Matematični priročnik Popravljen izdaja*, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 2009
- [2] (20.4.2014) B. Discoe, The BT (Binary terrain) file format, dostopno na: <http://vterrain.org/Implementation/Formats/BT.html>
- [3] J. Iliffe, R. Lott, *Datums and map projections for remote sensing, GIS and surveying, 2nd edition*, Whittles Publishing, Škotska, 2008
- [4] (20.4.2014) QGIS, dostopno na: http://www.qgis.org/en/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html
- [5] (20.4.2014) QGIS, dostopno na: http://www.qgis.org/en/docs/gentle_gis_introduction/vector_data.html
- [6] (20.4.2014) QGIS, dostopno na: http://www.qgis.org/en/docs/gentle_gis_introduction/introducing_gis.html
- [7] T. Wade, S. Sommer, *A to Z GIS*, ESRI, Združene države Amerike, 2001
- [8] (20.4.2014) Wikipedia, dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Shapefile>
- [9] (20.4.2014) Wikipedia, dostopno na: http://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System
- [10] (20.4.2014) ORG-GIS in PA.pdf, dostopno na: <http://www.km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/TIUS/data/GIS/ORG-%20GIS%20in%20PA.pdf>